

**А.А.Бердников, Г.В.Алисова,
М.А. Филиппов, Вас.В.Запарий**
Екатеринбург

ПЛАЗМЕННАЯ ЗАКАЛКА СТАЛЕЙ – ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ XXI В.

Аннотация: дается характеристика новой технологии современного машиностроения – плазменной закалке сталей и перспективам ее применения. Она дает возможность ведения процесса без применения охлаждающих сред, вакуума, специальных покрытий для повышения поглощательной способности упрочняемых поверхностей; простоту, низкую стоимость, маневренность, малые габариты технологического оборудования; возможность автоматизации и роботизации технологического процесса.

Ключевые слова: машиностроение, плазменная закалка сталей, передовые технологии, оборудование, инновации

**An.A. Berdnikov, G.V. Alisova,
M.A. Filippov, Vas.V. Zapariy**
Ekaterinburg

PLASMA HARDENING STEELS - TECHNOLOGY OF MECHANICAL ENGINEERING OF XXI CENTURY

Abstract: given characteristic new technology of modern engineering - plasma hardening of steels and prospects of its application. It gives the opportunity to conduct the process without the use of cooling media, vacuum, special coatings to increase absorptive surfaces; simplicity, low cost, flexibility, small dimensions of technological equipment; automation and robotization of the technological process.

Keywords: mechanical engineering, plasma hardening steels, advanced, equipment, innovations

Большинство деталей и узлов машин – от подшипников до режущего инструмента – работает в условиях трения, следовательно, подвержены изнашиванию. Это и сокращает век подавляющего количества машин и механизмов, например, транспортных машин или станков. Не надо быть специалистом, чтобы пассажиру автобуса, который движется по улице с толчками, сотрясаясь всей массой и выпуская клубы выхлопных газов, определить, что его двигатель и трансмиссия изношены до предела. Это значит, что в процессе эксплуатации произошло уменьшение диаметра шеек коленчатого вала автобуса и поршневых колец его двигателя и образовались недопустимые зазоры сопряженных деталей.

В значительной степени справедливо утверждение, что качество машин и конструкций заложено в поверхностном слое материала, из которого они изготовлены. Долговечность работы машины зависит от того, как изнашиваются трущиеся поверхности, как возникают и развиваются трещины, особенно при знакопеременных нагрузках, т.е. долговечность

деталей, не испытывающих контактных нагрузок, также зависит от качества поверхностного слоя детали. Поэтому в машиностроении широко используют методы объемного упрочнения изделий с помощью их термической обработки и методы, обеспечивающие различное сочетание свойств в поверхностном слое и внутреннем объеме деталей - поверхностную закалку.

Эффективным методом поверхностного упрочнения железоуглеродистых сплавов является обработка концентрированными потоками энергии (КПЭ) – лазерными, фононными, электронными, плазменными, сущность которых состоит в высокоскоростном нагреве поверхностного слоя металла и быстром его охлаждении в результате передачи тепла в глубинные слои материала детали. Это обуславливает изменение структуры поверхностного слоя за счет фазового превращения – закали на мартенсит.

Среди методов поверхностной обработки с помощью высококонцентрированных источников энергии закалка при плазменном нагреве занимает особое место как наиболее простая и технологичная операция. Показано, что закалка с плазменным нагревом поверхности углеродистых сталей приводит к повышению их абразивной стойкости и износостойкости при трении металла по металлу.

Цель плазменной закалки – изготовление деталей и инструмента с упрочненным поверхностным слоем толщиной до нескольких миллиметров при неизменном общем химическом составе материала и сохранении во внутренних слоях первоначальных свойств исходного металла. Считается, что любое вещество, нагретое до температуры более 6000 К, переходит в плазменное состояние. Для плазменной обработки используют одноатомные и многоатомные газы, которые при нормальном давлении и температуре энергетически нейтральны. Под действием энергии сжатой электрической дуги, генерируемой плазматроном, нейтральный газ ионизируется и переходит в плазменное состояние. Сущность термической ионизации газа заключается в отрыве от атомов газа одного или нескольких электронов и возникновении при этом двух или нескольких заряженных частиц: оторвавшихся электронов и остаточного иона. Оторвавшиеся электроны при соударении с атомами выбивают из них электроны, и таким образом возникает электронная лавина – атомы переходят в ионы, и газ ионизируется.

Воздействие КПЭ в результате быстрого (за несколько миллисекунд) нагрева поверхности стали или чугуна выше определенных критических температур и последующего их охлаждения со скоростью, превышающей критическую скорость охлаждения (за счет отвода теплоты внутрь обрабатываемого металла вследствие теплопроводности), приводит к образованию мартенсита, который обладает повышенными твердостью, прочностью и износостойкостью, что способствует повышению ресурса деталей машин.

Плазменной закалкой упрочняются тонкие (0,1 – 0,9 мм), иногда более толстые (до 2 – 3 мм) слои изделий, изготавливаемых из низколегированных сталей с содержанием углерода 0,4% и выше, а также и перлитных чугунов. Опыт применения лазерной, электронно-лучевой и плазменной технологий для поверхностной термообработки железоуглеродистых сплавов свидетельствует, что они обеспечивают приблизительно равнозначные показатели по структуре, твердости, микротвердости и износостойкости. Однако лазерное и электронно-лучевое упрочнение требуют на порядок более высоких капитальных вложений в оборудование, эксплуатационные затраты на эти процессы в два раза выше по сравнению с затратами при плазменной закалке. Применение в качестве носителя энергии электрической и плазменной дуги позволяет увеличить производительность процесса по сравнению с другими источниками КПЭ благодаря достаточно высоким тепловой мощности и плотности теплового потока ($10^4 - 10^6$ Вт/см²) на поверхности пятна нагрева значительно большей (10^{-4} против 10^{-8} см²) площади.

Оборудование для плазменной закалки состоит из источника тока, малогабаритного плазмотрона и механизма для перемещения плазмотрона или детали, а также блока аппаратуры. Механизмом для перемещения может служить серийное механическое, сварочное или наплавочное оборудование. Плазмотрон является основным элементом энергетической части установок, используемых в производстве для осуществления различных видов плазменной обработки материалов (плазменной технологии). Плазмотрон – это устройство, служащее для генерирования низкотемпературной плазмы (температура плазмы, как правило, 10000 – 15000 °С) путем продувания газа через электрический дуговой разряд. Несмотря на разнообразие конструкций, все плазмотроны имеют три основных элемента: электрод, сопло и изолятор, их разделяющий.

Закалка представляет собой нагрев до некоторой критической температуры ($\geq 750^\circ\text{C}$) и последующее быстрое охлаждение, в результате чего твердость стали и чугуна увеличивается в 2 – 3 раза, с твердости 20 – 25 ед. по Роквеллу до 50 – 65. Благодаря этому изнашивание деталей замедляется иногда в десятки и даже сотни раз. Закалка остается наиболее распространенным способом упрочнения. Многие детали (пружины, шариковые и роликовые подшипники качения, режущий и штамповый инструмент) без закалки оказываются неработоспособными.

Первоначально разработанная закалка с нагревом в печах невозможна или затруднительна на массивных или деталях большой длины, поэтому шел поиск новых способов ее проведения. По мере появления высококонцентрированных источников нагрева их применяли для поверхностной закалки. В первом десятилетии XX в. появилась газоплазменная закалка, в 1930 – 1940-х гг. – электроконтактная, в электролите и

закалка ТВЧ (токами высокой частоты), позднее для поверхностной закалики получил применение лазерный луч [1 – 3].

Сведения о плазменной закалке появились в 1980-х гг. [4, 5]. Наличие в промышленности различных плазменных аппаратов (для резки, сварки, напыления) подталкивало новаторов приспособливать их для поверхностной закалики. Технологический процесс плазменной закалики состоит из предварительной очистки (любым известным методом) и непосредственно плазменной закалики обрабатываемой поверхности путем перемещения изделия относительно плазмотрона или наоборот. Возможны следующие технологические варианты плазменной закалики: без оплавления и с оплавлением поверхности детали, с промежутками между упрочненными зонами или без них. Параметры процесса плазменной закалики: ток плазменной дуги (струи), расход плазмообразующего газа, расстояние между плазмотроном и изделием, скорость перемещения – определяются алгоритмом, обеспечивающим получение оптимальных свойств в поверхностном слое упрочняемой детали. Интегральная температура нагрева в процессе плазменной закалики не превышает 150 – 200 °С. В качестве плазмообразующего газа используются, как правило, аргон или его смеси с азотом, а также воздух. Средняя ширина закаленной зоны 6 – 13 мм. Такая ширина зоны значительно превышает возможности лазерной закалики при близкой к этому способу скорости нагрева, однако для закалики больших поверхностей приходится делать необходимое количество параллельных проходов плазмотрона.

Один из ведущих научно-технических центров по развитию оборудования и технологии этого прогрессивного способа поверхностного упрочнения в нашей стране сформировался в 1980-х гг. в Нижнетагильском технологическом институте (филиале УрФУ), благодаря деятельности коллективов под руководством А.А. Бердникова, В.А. Короткова, И.А. Толстова и Е.Н. Сафонова. Были разработаны плазмоторны оригинальной конструкции, в том числе портативная установка УДГЗ-200, применяемая на ремонтных площадках, по месту механообработки и эксплуатации деталей, а не только в термических цехах и специализированных участках [6 – 8].

Твердый (HRC 45 – 65) слой закалики на глубину 0,5 – 1,5 мм многократно увеличивает срок службы прокатных валков, крановых рельс и колес, зубчатых и шлицевых соединений, канатных блоков, вырубных, формовочных, вытяжных штампов и др. ответственных деталей. Благодаря плазменной закалке увеличена номенклатура закаливаемых изделий и решен ряд важных проблем на ведущих предприятиях Урала: ОАО «ЧМК», ОАО «НТМК», ОАО «ВСМПО-АВИСМА», ОАО «ЧТПЗ», ОАО «КГОК» и др. [8].

Таким образом, управляя возникающим при плазменной закалке градиентом температуры путём регулирования параметров обработки

(силе тока дуги, скорости движения плазмотрона) сталей различных структурных классов, можно целенаправленно формировать на их поверхности благоприятный фазовый состав и мартенситно-аустенитную структуру с высокой твердостью и дисперсностью, обеспечивающие физико-механические свойства, наиболее отвечающие условиям изнашивания.

Материалы, подвергаемые плазменной закалке, – конструкционные и инструментальные стали, чугуны, твёрдые сплавы, цементованные и нитроцементованные стали, цветные сплавы и другие. Примеры применения плазменной закалки в машиностроении: режущий и мерительный инструмент, штампы, напильники; контуры резьбы ходовых винтов, зубчатые колеса, рейки; рабочие профили кулачков, копиров, а также разнообразные пазы, канавки, отверстия, направляющие, шпиндели, валы, оси, штоки, детали текстильных машин, ножи для обработки дерева, бумаги, синтетических материалов, рамные и дисковые пилы, иглы, прокатные валки, коленчатые и распределительные валы и т.д.

Отличительные особенности плазменной закалки по сравнению с другими способами поверхностного упрочнения с помощью высокоскоростного нагрева – токами высокой частоты, газовым пламенем, лазерным и электронно-лучевым упрочнением – обуславливают преимущества данного процесса: низкие интегральные температуры нагрева деталей; большую глубину упрочненного слоя по сравнению, например, с лазерной закалкой; высокий эффективный КПД нагрева плазменной дугой до 85%, для сравнения, при лазерном упрочнении – 5–10%; отсутствие необходимости в применении специальных дополнительных химических препаратов или веществ; возможность ведения процесса без применения охлаждающих сред, вакуума, специальных покрытий для повышения поглощательной способности упрочняемых поверхностей; простоту, низкую стоимость, маневренность, малые габариты технологического оборудования; возможность автоматизации и роботизации технологического процесса.

Таким образом, плазменная закалка рабочих поверхностей деталей машин и инструмента, получившая развитие как промышленная технология благодаря деятельности учёных Уральского федерального университета, является прогрессивным, доступным и эффективным процессом локального поверхностного упрочнения, позволяющим снизить их износ, увеличить стойкость и межремонтный ресурс, а также получить реальную экономию за счёт повышения работоспособности и снижения объёма закупок новых изделий.

Библиографический список:

1. *Вологдин В.П.* Поверхностная индукционная закалка. М.: Оборонгиз, 1947.
2. *Ясногорский И.З.* Автоматический нагрев в электролите. – М.: Оборонгиз, 1947.
3. Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов. //П.А. Леонтьев, Н.Т. Исканова, М.Г. Хан – М.: Металлургия, 1986. – 142 с.
4. *Селиванов М.В., Шепелев Н.С.* Применение плазмы для упрочнения за рубежом. – М.: ЦНИИ информ. и техн.-эконом. исслед. черной металлургии, 1985. – Вып. 2. – 23 с.
5. Поверхностное упрочнение сталей плазменной закалкой. /В.А. Линник, А.К. Онегина, А.И. Андреев и др.// Металловедение и термическая обработка металлов, 1983. – № 4. – С. 2-4.
6. Плазменная закалка сканируемой дугой без оплавления. /В.А. Коротков, О.В. Трошин, А.А. Бердников // Физика и химия обработки материалов, 1995. - № 2. – С.106-111.
7. *Сафонов Е.Н., Журавлев В.И.* Поверхностное упрочнение железоуглеродистых сплавов дуговой закалкой. // Сварочное производство, 1997. - №10. – С. 30-32.
8. *Коротков В.А.* Поверхностная плазменная закалка. УрФУ, Нижнетагильский технологический институт (филиал), 2012. – 75 с.